

## ION BEAM APPARATUS, ION BEAM PROCESSING METHOD AND SAMPLE HOLDER MEMBER

### BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、試料の所定の部分にイオンビームを照射して断面加工を行うイオンビーム装置およびイオンビーム加工方法、さらには試料を固定するためのホルダー部材に関する。

イオンビーム装置として、集束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)装置やイオンミリング装置が知られている。これらの装置は、例えばウェーハの欠損箇所をTEM (Transmission Electron Microscope) やSEM (Scanning Electron Microscope) などで断面観察する際の試料作製に用いられている。特に、FIB装置は、十分に集束したイオンビームで試料表面を走査し、該走査時に発生する二次電子を検出して画像として観察しながら、欠陥などの特定部位を正確に断面加工できるため、半導体製造プロセスの評価装置として広く利用されている。最近では、FIB装置と走査電子顕微鏡やエネルギー分散型X線検出器などの観察装置とを組み合わせた複合形イオンビーム装置も提供されている。

図8に、従来のFIB装置の概略構成を示す。このFIB装置の主要部は、イオン源100、イオン光学系101、二次荷電粒子検出器102、ガス銃103、試料ホルダー104、試料ステージ105からなる。

イオン源100は、例えばガリウム(Ga)に代表される液体金属イオン源である。イオン光学系101は、イオン源100からのイオンビームを集束するとともに試料106上で走査させるためのもので、コンデンサレンズ(静電レンズ)、ビームブランカ、可動絞り、8極ステイグメータ、対物レンズ(静電レンズ)、走査電極がイオン源100から順に配されている。二次荷電粒子検出器102は、集束イオンビーム(以下、単にFIBと記す。)を試料106上で走査した際に発生する二次荷電粒子を検出するものである。

試料ステージ105は、5軸制御が可能なステージである。5軸制御では、XYZ方向への3次元的な移動、XY平面に垂直な軸周りの回転、チルトの制御が行われる。試料ホルダー104は、試料106を固定するためのもので、ポート

と呼ばれる移動台(不図示)の上に載置されて試料ステージ104上へ搬入される。試料106は、例えばウェーハから欠損部位をダイシングソーにより切り出して予備加工を施した小片試料である。

図9の(a)~(d)に、試料106の試料ホルダー104への固定手法の一例を模式的に示す。まず、図9(a)に示すような、ほぼE字型に打ち抜かれた円板状の試料保持部材110(一般にメッシュと呼ばれている。)を用意し、この試料保持部材110の中爪111を板面に対してほぼ垂直となるように折り曲げて図9(b)に示すような段部112を形成する。次いで、図9(c)に示すように、ダイシングソーによりほぼ長方形のブロック状に加工された試料106を試料保持部材110の段部112が形成された面側に載置する。このとき、試料106の長辺側の一方の端面が段部112に当接されるようにする。この状態で、試料106の短辺側の両端部を試料保持部材110に接着剤113により固定する。

試料ホルダー104は、図9(d)に示すような受部104aと押し当て部104bからなるクランプ部と、このクランプ部が固定される固定台(不図示)からなる。試料保持部材110の、試料106が固定された部分とは反対の部分、受部104aと押し当て部104bで挟むようにしてクランプする。クランプの際、段部112が押し当て部104bの上面に当接されることで、試料保持部材110のクランプ位置が規定される。このようにして試料保持部材110をクランプした状態でクランプ部を固定台へ固定する。

クランプ部の固定台への固定は、例えば受部104aの両端にそれぞれ設けられた穴104cに、固定台の所定の箇所に設けられた突起(不図示)を嵌め込むことで行う。この他、クランプ部の固定台への固定を、ラッチ機構を利用して脱着自在な構成にすることもできる。

試料ホルダー104は移動台(不図示)に載置されて、試料ステージ105上へ搬送される。試料ホルダー104の固定台が移動台を兼ねるようにすることもできる。

次に、上述のFIB装置を用いた具体的な試料作製手順について説明する。図10の(a)~(c)は、TEM試料の作製手順を示す工程図である。以下、図

8～図10を参照して、TEM試料の作製手順を説明する。

ウェーハの欠損部位をダイシングソーにより切り出して予備加工を施し、図10(a)に示すような断面形状が凸形状の試料200を作製する。試料200の凸部の面がウェーハの表面であり、以降の説明では、この凸部の面を試料の表面、反対側の面を試料の裏面とする。この試料200を、図9(d)に示した試料保持部材110に、裏面が段部112に当接された状態で接着固定して試料ホルダー104にクランプする。そして、試料ホルダー104を移動台(不図示)に載置して試料ステージ105上に搬入し、試料ステージ105上で、試料200の表面に対してイオン源100からのFIBがほぼ垂直に照射されるように位置、角度を調整する。

次いで、ガス銃103を用いて、試料200の表面に所定のガスを吹き付けるとともに、イオン源100からのFIBで試料200の表面の加工領域を含む範囲を走査することで、図10(b)に示すような保護膜201を形成する。

最後に、イオン源100からのFIBで試料200の表面の加工領域を走査する。FIBは、試料200の表面に対してほぼ垂直となるように照射されるので、FIBが照射された領域は表面が除々に削れ、最終的に図10(c)に示すような断面202を得る。図10(c)に示す断面202は、試料200の凸部が両側から削り取られた状態になっており、その厚さは、0.1～0.5 $\mu$ m程度になっている。このようにして形成した断面202が、TEM試料として用いられる。

上記の断面加工では、FIBによる断面202へのダメージがある。図11(a)は、イオン源にGaイオン源を用いて図10の(a)～(c)の手順で作製したTEM試料の斜視図、図11(b)はそのA-A'断面図である。Gaイオン源からのFIBにより断面加工を行った場合、断面202の表面は、FIBによるダメージを受けるとともにFIBに含まれているGaイオンの一部が注入されて、図11(b)に示すようなダメージ層(破碎層)203が形成される。ダメージ層203は、試料自体に元々含まれていた元素と注入されたGaとが混在したアモルファスな状態になっている。このように観察したい面(断面202)に不要なダメージ層203が形成されてしまうと、ダメージ層203が妨げとなって、

良好なTEM観察を行うことができない。

そこで、低エネルギーのイオンビーム、例えばアルゴン (Ar) イオンビームを用いたエッチング (イオンミリング) によりダメージ層を除去する、という手法が提案されている。例えば、特許第3117836号 (特開平6-260129号) の公報には、イオミリング装置が組み込まれた、ダメージ層の除去が可能なFIB装置が開示されている。

図12は、上記公報に記載されたFIB装置の構成を模式的に示す断面図である。このFIB装置の主要部は、液体金属イオンビーム照射装置 (集束イオンビーム照射装置) 200、気体イオンビーム照射装置201、試料ステージ202からなる。

液体金属イオンビーム照射装置200は、液体金属イオン源から引き出されて十分に集束されたイオンビーム (FIB) で試料ステージ202上に載置された試料203の表面の所定の部分を走査するものである。液体金属イオン源としては、例えばGaイオン源がある。気体イオンビーム照射装置201は、気体イオン源から引き出されたイオンビームで、断面加工された部分を含む領域を一様に照射するものである。

上記のFIB装置では、まず、液体金属イオンビーム照射装置200からのFIBで試料203を断面加工する。この断面加工の際に、断面にダメージ層が形成される。断面加工後、気体イオンビーム照射装置201からの気体イオンビームを、断面加工部分を含む領域に照射して、エッチングにより断面上のダメージ層を除去する。

なお、気体イオンビームの照射によっても断面はダメージを受けるが、その量は小さい。液体金属イオンビームの場合のダメージ層の厚さが20~30nmであるのに対して、気体イオンビームの場合のダメージ層の厚さは数nm程度であるので、そのダメージ層がTEMやSEMを用いた断面観察で問題になることはない。

上述したように、FIBで試料を断面加工した場合、加工された断面にダメージ層ができるため、TEMやSEMなどを用いた良好な断面観察を行うことができないという問題がある。

FIBによる断面加工後に、気体イオンビームでダメージ層除去することで、上記の問題は解決されるが、この場合には、以下に説明するような二次粒子の再付着の問題が生じる。

図13の(a)～(c)に、断面に再付着層が形成される過程を示す。図13(a)に示すように、断面に形成されたダメージ層203を除去するために、Arイオンビームが照射される。このArイオンビームの照射範囲は、断面と隣接する隣接面204を含む。Arイオンビームが隣接面204に照射されると、図13(b)に示すように、隣接面204から二次粒子が放出される。この隣接面204から放出された二次粒子は、ダメージ層203が除去された後の断面に付着し、図13(c)に示すような再付着層206が形成される。この再付着層206も、ダメージ層と同様、TEMやSEMなどを用いた良好な断面観察を妨げる。

上記Arイオンビーム照射による隣接面からの二次粒子の再付着を解決するものとして、特開平4-116843号公報には、Arイオンビームが隣接面(同公報では底面と記載されている)に照射されないように、Arイオンビームの向きを設定したものが記載されている。しかし、この場合は、以下のような問題がある。

隣接面は底面以外にもある。例えば、図10(c)に示した断面加工が施された試料の場合、隣接面は底面の他に、断面202の長手方向においてその両端に位置する側壁(FIB断面加工により形成された側壁)を含む。この側壁においても、上述した二次粒子の放出が生じる。Arイオンビームは十分に集束できないビームであるため、両側壁および底面に照射されないように設定することはできない。したがって、底面に照射されないようにArイオンビームの向きを設定しても、両側壁には必ずArイオンビームが照射されることとなり、断面に再付着層が形成されることになる。

加えて、Arイオンビームを底面に照射されないようにするには、試料に対するArイオンビームの向きおよび位置関係を高精度に設定する必要があり、そのような設定には時間を要する。

なお、FIBによる加工領域をアルゴンイオンビーム径に対して十分に大きく

することにより、アルゴンイオンビームを被加工領域のみに照射することが可能であるが、この場合は、FIBによる加工時間が長くなってしまう。

本発明の目的は、上記の各問題を解決し、断面への二次粒子の再付着を簡単に抑制することのできる、イオンビーム装置およびイオンビーム加工方法ならびにホルダー部材を提供することにある。

#### SUMMARY OF THE INVENTION

上記目的を達成するため、本発明のイオンビーム装置は、表面側から所定の集束イオンビームが照射されて断面が形成された試料を固定するためのホルダー部材と、前記ホルダー部材により固定された試料の、前記断面を含む領域に気体イオンビームを照射して前記断面上のダメージ層を除去する気体イオンビーム照射手段とを有し、前記気体イオンビームが、前記試料の裏面側から前記断面に所定の入射角度で照射されるように構成されていることを特徴とする。

上記のイオンビーム装置によれば、以下のような作用を奏する。

気体イオンビームは試料の裏面側から照射されるので、二次粒子はそのほとんどが試料の表面側の方向へ向かい、断面に向かうことはない。よって、二次粒子が断面に再付着して問題になることはない。

また、気体イオンビームは、断面加工が施された部分を含む領域に所定の入射角度で照射すればよいので、特開平4-116843号公報に記載されたもののよう、試料に対するイオンビームの向きおよび位置関係を高精度に設定する必要はない。

本発明のイオンビーム加工方法は、試料の表面側から所定の集束イオンビームを照射して断面を形成する第1の工程と、前記断面が形成された試料をその裏面側からホルダー部材で固定し、前記断面を含む領域に気体イオンビームを前記試料の裏面側から所定の入射角度で照射して前記断面上のダメージ層を除去する第2の工程とを有することを特徴とする。

上記のイオンビーム加工方法においても、上述のイオンビーム装置の場合と同様な作用を奏する。

本発明のホルダー部材は、表面側から所定の集束イオンビームが照射されて断

面が形成された試料を固定するホルダー部材であって、前記試料をその裏面側からクランプするクランプ部と、前記断面に対して所定の入射角度で照射される気体イオンビームとのなす角度が前記所定の入射角度に等しくなるように配置される固定面を備え、前記試料の断面が前記固定面に対して平行になるように前記クランプ部が固定される固定台とを有することを特徴とする。

また、本発明のホルダー部材は、表面側から所定の集束イオンビームが照射されて断面が形成された試料を固定するホルダー部材であって、前記試料をその裏面側からクランプするクランプ部と、前記断面に対して所定の入射角度で照射される気体イオンビームとのなす角度が前記所定の入射角度に等しくなるように配置される固定面を備え、前記試料の断面が前記固定面に対して垂直で、かつ、前記試料の表面が前記固定面側に位置するように前記クランプ部が固定される固定台とを有することを特徴とする。

上記のホルダー部材のいずれにおいても、上述のイオンビーム装置の場合と同様な作用を奏する。

なお、上述した各発明の構成において、試料は、後述の実施形態で説明する、試料ホルダーに固定されるものであって、試料保持部材を含む。

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

##### 【図1】

本発明のイオンビーム装置の一実施形態であるFIB装置の構成を模式的に示す断面図である。

##### 【図2】

図1に示す試料ホルダーの一例を示す図で、(a)はクランプ部の分解斜視図、(b)は試料ホルダーの一部を拡大した斜視図、(c)は(b)の一部を拡大した断面図である。

##### 【図3】

(a)は垂直入射における二次粒子放出分布を示す模式図、(b)は斜め入射における二次粒子放出分布を示す模式図である。

##### 【図4】

本発明のイオンビーム装置に用いられる試料ホルダーのクランプ部の一変形例を示す斜視図である。

【図5】

図4に示すクランプ部の一変形例を示す斜視図である。

【図6】

本発明のイオンビーム装置に用いられる試料ホルダーの一変形例を示す斜視図である。

【図7】

図1に示すFIB装置にSEMおよびTEMによる断面観察が可能な機能を組み込んだ複合装置の概略構成を説明するための模式図である。

【図8】

従来のFIB装置の構成を模式的に示す断面図である。

【図9】

(a)～(d)は、従来のFIB装置に使用されている試料ホルダーの固定形態を説明するための斜視図である。

【図10】

(a)～(c)は、TEM試料の作製手順を示す工程図である。

【図11】

(a)は、TEM試料の斜視図、(b)は(a)のA-A'断面図である。

【図12】

特開平6-260129号公報に記載されたFIB装置の構成を模式的に示す断面図である。

【図13】

(a)～(c)は、断面に再付着層が形成される過程を示す模式図である。

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

図1に、本発明のイオンビーム装置の一実施形態であるFIB装置の概略構成を模式的に示す。図1中、斜線部は断面を表す。このFIB装置の主要部は、液



体金属イオンビーム照射装置1、気体イオンビーム照射装置2、試料保持部材3、試料ホルダー4、および試料ステージ6からなる。

液体金属イオンビーム照射装置1は、液体金属イオン源を備える既存の装置であって、液体金属イオン源から引き出されて十分に集束されたイオンビーム(FIB)で試料の表面を走査して加工(断面加工)することができる。液体金属イオン源には、例えばGaイオン源が用いられる。

気体イオンビーム照射装置2は、気体イオン源を備える既存の装置であって、気体イオン源から引き出された気体イオンビームがFIBによる断面加工が施された部分を含む領域に所定の入射角度で照射される。この気体イオンビームの照射により、FIBによる断面加工の際に形成されるダメージ層の除去が行われる。気体には、アルゴン、酸素、ヘリウム、ネオン、キセノン、クリプトン、ラドン等を用いることができる。

気体イオンビーム照射装置2から照射される気体イオンビームの光軸は、液体金属イオンビーム照射装置1から照射されるFIBの光軸と所定の位置で交わるようになっており、両光軸のなす角度は、通常は $50^{\circ} \sim 55^{\circ}$ の範囲に設定されている。ただし、この設定範囲は一例であって、これ以外の範囲に設置することも可能である。

試料ステージ5は、既存の5軸制御が可能なステージである。試料保持部材3は、図9に示した試料保持部材110と同じものであって、試料7が接着固定される。試料6は、例えばウェーハから欠損部位をダイシングソーにより切り出して予備加工を施した小片試料であって、図1には、例えば図10の(a)～(c)に示した手順でFIBによる断面加工が施された後の、ダメージ層除去前の状態のものを示してある。

試料ホルダー4は、試料保持部材3をクランプするクランプ部41と、このクランプ部41が固定される固定台42とからなる。クランプ部41は、気体イオンビームによるダメージ層の除去の際に用いられるものであって、例えばネジやラッチ機構などの脱着可能な機構により固定台42に固定される。固定台42は、気体イオンビームとのなす角度が上記所定の入射角度にほぼ等しくなるように配置される固定面を有し、試料6の断面がその固定面に対して平行になるようにク

ランプ部41が固定されるようになっている。また、固定台42は、FIB加工の際は、クランプ部41に代えて断面加工用クランプ部(不図示)が取り付けられるようになっている。なお、本実施形態では、固定台42は、試料を試料ステージ5上に搬送するための移動台を兼ねるものとするが、移動台を固定台42とは別に設けることも可能である。

図2に、試料ホルダー4の一例を示す。クランプ部41は、図2(a)に示すように押し当て部41aと受部41bからなり、これらで試料6が保持された試料保持部材3を試料6の裏面側から挟み込むようにしてクランプする。クランプは、例えばクランプ部41をネジ等により受部41bに固定することで行う。クランプ時の試料保持部材3の位置決めは、図9(d)に示した試料ホルダーと同様な段部により行う。また、押し当て部41aまたは受部41bのクランプ面に位置決めのための所定の大きさ(試料保持部材3のクランプされる部分の大きさに相当する。)の凹部を設け、そこに試料保持部材3を嵌め込むようにしてもよい。

固定台42は、図2(b)に示すように、クランプ部41の一端が当接される突き当て部42aと、クランプ部41の他端を固定するための脱着機構を備える固定部42bとを有する。突き当て部42aと固定部42bは、対向するように配置されており、その間隔はクランプ部41の長さにはほぼ等しい。また、固定台42は、クランプ部41が固定される部分にはほぼ「コ」の字状の切り欠き部が形成されている。この切り欠き部の端面は、クランプ部41の試料保持部材3がクランプされる部分の端面とほぼ同じ位置になっており、試料の裏面側から照射される気体イオンビームがこの切り欠き部を通過し、固定台には照射されない構造になっている。

脱着機構は、例えば図2(c)に示すように、固定部42bのクランプ部41の他端が当接される面に設けられた板ばね部材42cより構成されている。クランプ部41を固定台42へ固定する場合は、クランプ部41の一端を突き当て部42aに当接した状態で、他端を固定部42に嵌るように押し込むことで板ばね部材42cにより固定する。クランプ部41を固定台42から取り外す場合は、クランプ部41の他端を掴んで持ち上げる。

本実施形態では、クランプ部41とは別に断面加工用クランプ部(不図示)が使用される。この断面加工用クランプ部は、例えば図9(d)に示した試料ホルダー104のクランプ部と同様のもので、受部104aの長さが受部41aとほぼ等しくなっており、固定台42への固定が可能である。ただし、断面加工用クランプ部の場合は、試料の裏面が固定台42の固定面側に位置するように配置される。このように配置することで、液体金属イオンビーム照射装置1からのFIBを試料の表面に対してほぼ垂直に照射して断面加工を行うことができる。

次に、本実施形態のFIB装置における断面加工およびダメージ層除去の手順について図1を参照して具体的に説明する。

#### (1) 断面加工:

断面加工では、断面加工用クランプ部を使用する。ダイシングソーによりブロック状に加工された試料が保持された試料保持部材3を断面加工用クランプ部でクランプし、その断面加工用クランプ部を固定台42に固定する。そして、固定台42を試料ステージ5上に移動し、液体金属イオンビーム照射装置1を用いて試料の表面を、例えば図10の(a)～(c)に示した手順で断面加工する。この断面加工は、従来と同様であり、加工面である断面にダメージ層が形成される。

#### (2) ダメージ層除去:

まず、断面加工用クランプ部を固定台42から取り外し、上記断面加工が施された試料を保持した試料保持部材3を断面加工用クランプ部から取り外す。この取り外した試料保持部材3を、図2に示したように試料の裏面方向からクランプ部41でクランプし、そのクランプ部41を固定台42に固定する。そして、固定台42を試料ステージ5上の所定の位置に配置し、気体イオンビーム照射装置2からの気体イオンビームで試料の断面を含む領域を一様に照射してダメージ層を除去する。このとき、気体イオンビームは、図1に示したように、試料6の断面に対してその試料6の裏面側から所定の入射角度で照射されるようになっており、これにより二次粒子の再付着が抑制される。

上述した本実施形態のFIB装置の最も特徴とするところは、図1に示したように、試料ホルダー4のクランプ部41を使用して、気体イオンビームを試料6の裏面側から断面に照射するようにして、ダメージ層除去の際の断面への二次粒

子の再付着を抑制した点にある。以下に、二次粒子の再付着が抑制される理由を説明する。

図3に、二次粒子放出分布を示す。図3(a)に示すように、気体イオンビーム11が加工面に対して垂直に入射の場合は、二次粒子12は入射ポイントから放射状に放出され、その放出分布はほぼ円を描くようになる。一方、気体イオンビーム11が加工面に対して斜めに入射の場合は、図3(b)に示すように、二次粒子12は入射ポイントから、気体イオンビーム11の入射方向とは反対の方向へ主に放出され、その放出分布は偏ったものとなる。このように、気体イオンビームの入射方向により二次粒子の放出方向を任意の方向へ向けることが可能である。

また、試料6の断面加工は、必ず試料6の表面に対してFIBを垂直に入射させて、表面を削りとることで行われることから、試料6の表面側に断面と隣接する側壁は存在しない。試料6の表面側には、気体イオンビームが照射される側壁はなく、また、試料保持部材3および試料ホルダー4は気体イオンビームの進行方向に位置しないようになっている。よって、試料6の裏面側から気体イオンビームを断面に斜めに照射するようになれば、断面以外の領域から放出された二次粒子はそのほとんどが試料6の表面側の方向へ向かい、断面に向かうことはない。なお、図1の例では、試料保持部材3の一部が気体イオンビームの進行方向に位置するように見えるが、実際は、図2(b)に示すようにその部分は切り欠かれており、気体イオンビームが通過するようになっている。また、固定台42も、切り欠き部が設けられており、これにより、気体イオンビームが当たらないようになっている。

本実施形態では、上記の知見に基づき、二次粒子放出分布に偏りを持たせ、かつ、断面以外の領域から放出された二次粒子が断面に向かわないように構成している。これにより、ダメージ層除去の際の断面への二次粒子の再付着を抑制している。

気体イオンビームの断面への入射角度は小さいほど良いが、試料6の構造上、入射角度をあまり小さくすると、断面に隣接する側壁により気体イオンビームが遮られ、断面を照射することができなくなる。よって、入射角度は、断面をある

程度の範囲で照射することができるように設定する必要がある。このような加工面に対する気体イオンビームの入射角度の設定は、試料ステージ5のチルト角を制御することで行うことができる。

以上の説明では、試料6として、ダイシングソーにより加工が施されたものを用いたが、SEM像など画像を見ながらFIBをウェーハの欠損箇所 directly 照射して断面加工を施し、形成された断面部を切出す、いわゆるピックアップ法あるいはリフトアウト法とよばれる手法により作製された試料を用いることも可能である。この場合は、試料保持部材3と同様な形状の保持部材上に予めサンプル台を作製しておき、そのサンプル台に試料を固定する。

また、試料ホルダーとしては、種々の形態のものが適用可能である。以下に、試料ホルダー4の変形例を示す。

#### (試料ホルダーの変形例1)

図4に、本発明のイオンビーム装置に用いられる試料ホルダーのクランプ部の変形例を示す。このクランプ部は、押し当て部51、受部52、支柱53a、53b、台54からなる。押し当て部51および受部52は、試料保持部材3をクランプする、図9(d)に示した構成とほぼ同様なものである。受部52の両端部52a、52bがそれぞれ支柱53a、53bを介して台54に固定される。台54は、例えば図2に示した固定台42に、一端を突き当て部42aに当接し、他端を固定部42bに嵌め込むことで固定される。

台54が固定台42に固定された状態において、試料保持部材3に保持された試料6の表面は固定台4の固定面側に位置する。この構成によれば、気体イオンビームは試料6の裏面側から所定の入射角度で断面に入射することになる。したがって、本例の試料ホルダーにおいても、二次粒子の断面への再付着を抑制することができる。

また、図5に示すように、台54が、固定台42の固定面に垂直な軸55周りに回動可能に固定台42に固定されてもよい。この場合は、試料6の一方の断面のダメージ層を除去した後、台54を軸55周りに180°回転させて、試料6の他方の断面のダメージ層を除去することができる。よって、試料6を取り外す必要がない分、処理時間が短縮されるとともに、手間を省くことができる。

図5に示した構成において、軸55を回転させるための小型モータは固定台42側に設けられる。FIB装置では、減圧された試料室内に配置された試料ステージに試料ホルダーを固定した状態で、試料室外から小型モータを制御する。これを実現する具体的な構成を以下に簡単に説明する。

試料ステージの所定の部位(試料ホルダーの固定位置)に、小型モータへの入力ラインに接続される端子を設け、この端子から試料室外に引き出した線を試料室外部にある駆動制御部に接続する。これにより、駆動制御部にて、試料ホルダーの回転を制御することができる。

また、固定台42に、小型モータの電源となる小型電池と、赤外線を受光すると、その受光の間、小型電池から小型モータへ電力を供給させる受光部とを設けてもよい。この場合は、試料室外に設けられた赤外線照射装置から受光部に赤外線を照射し、その照射時間を制御することで、試料ホルダーの回転を制御することができる。

#### (試料ホルダーの変形例2)

図6に、本発明のイオンビーム装置に用いられる試料ホルダーの他の変形例を示す。この試料ホルダーは、試料6が保持された試料保持部材3をクランプするクランプ部61と、クランプ部61が固定される固定台62とを有する。

固定台62は、試料6の断面に所定の入射角度で照射される気体イオンビームとのなす角度が、その所定の入射角度にほぼ等しくなるように配置される固定面62aを備えている。クランプ部61は、固定面62aに平行な軸63周りに回転可能に固定台62に固定されている。この構成によれば、試料6の一方の断面のダメージ層を除去した後、クランプ部61を軸53周りに180°回転させて、試料6の他方の断面のダメージ層を除去することができる。よって、試料6を取り外す必要がない分、処理時間が短縮されるとともに、手間を省くことができる。

以上説明した本実施形態のFIB装置において、試料ホルダーは、固定台にそれぞれが試料保持部材をクランプした複数のクランプ部が固定されるように構成してもよい。この場合、各クランプ部は予め決められた間隔で固定し、試料ステージ上における各クランプ部の位置が、基準となるクランプ部から求まるようにする。このように構成することで、気体イオンビームによるダメージ層の除去を、

複数の試料に対して連続的に行うことができ、処理時間を短縮することができる。

また、FIBによる断面加工および気体イオンビームによるダメージ層の除去に際しては、断面に生じるスジが生じることが知られている。例えば、表面に凹凸を有する試料に対してFIBをその表面にほぼ垂直な方向から照射して断面加工を行う場合、凹凸部の境界（角部）と平坦な部分とにおける加工速度（エッチング速度）が異なるため、形成された断面に表面の凹凸に応じたスジが生じる。また、断面加工領域に、材質の異なる領域（境界）が存在する場合も、同様なスジが生じる。これらのスジは、TEMやSEMを用いた良好な断面観察を妨げる。

本実施形態では、以下に挙げる手順1、2のうちのいずれかを採用することで、上記のようなスジを取り除き、良好な断面観察を実現するようになっている。

（手順1）

（1-1）FIBを試料表面に第1の照射方向（例えば、試料表面に垂直な方向）から照射して断面加工を行う。この断面加工の際に、スジが生じる。

（1-2）スジを取り除くために、上記断面加工により得られた断面に対して、FIBを第1の照射方向とは異なる第2の照射方向から照射する。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

（1-3）スジが取り除かれた断面に対して、第3の照射方向（この照射方向は試料裏面側からとなる）から気体イオンビームを照射して断面上のダメージ層を除去する。このダメージ層の除去工程で、スジが形成される。

（1-4）上記（1-3）の工程で形成されたスジを除去するために、断面に対して、気体イオンビームを第3の照射方向とは異なる第4の照射方向（この照射方向も試料裏面側からとなる）から照射する。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

上記の（1-1）の工程および（1-2）の工程は、同時に行ってもよい。すなわち、第1の照射方向と第2の照射方向とを切り替えながら断面加工を行うようにしてもよい。これと同様に、上記の（1-3）の工程および（1-4）の工程も、同時に行ってもよい。この場合は、第3の照射方向と第4の照射方向とを切り替えながらダメージ層の除去を行うことになる。

（手順2）

(2-1) FIBを試料表面に第1の照射方向(例えば、試料表面に垂直な方向)から照射して断面加工を行う。この断面加工の際に、スジが生じる。

(2-2) 上記断面加工により得られた断面に対して、第1の照射方向とは異なる第2の照射方向(この照射方向は試料裏面側からとなる)から気体イオンビームを照射して断面上のダメージ層を除去する。このダメージ層の除去工程では、(2-1)で生じたスジが除去されるが、気体イオンビームの照射により新たなスジが断面に形成される。

(2-3) 上記(2-2)の工程で形成されたスジを除去するために、断面に対して、気体イオンビームを第2の照射方向とは異なる第3の照射方向(この照射方向も試料裏面側からとなる)から照射する。これにより、断面に形成されたスジが取り除かれる。

上記の(2-2)の工程および(2-3)の工程は、同時に行ってもよい。すなわち、第2の照射方向と第3の照射方向とを切り替えながらダメージ層の除去を行うようにしてもよい。この場合は、断面加工時に生じたスジとダメージ層除去の際に生じるスジとを同時に取り除くことになる。

上述の手順1および手順2における照射方向の切り替えは、試料ステージのチルト角を制御することにより行う。

以上、FIB装置を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、液体金属イオンビーム照射装置1のない構成、すなわち、ダメージ層を除去するための装置のみからなる構成としてもよい。

また、本発明は、FIB加工により形成された断面上のダメージ層を気体イオンビームにより除去する機構を有する装置であれば、どのような装置にも適用することができる。例えば、FIB装置にSEMやTEMなどの観察用の装置を組み合わせた複合装置においても本発明の構成を適用することができる。

図7に、図1に示したFIB装置にSEMおよびTEMによる断面観察が可能な機能を組み込んだ複合装置の概略構成を示す。この複合装置は、図1に示した構成において、試料の断面部6aに電子ビームを照射する電子ビーム照射装置7と、その電子ビームの照射により生じる断面6aからの二次電子および透過電子をそれぞれ検出する二次電子検出器8、透過電子検出器9とを備える。図7中、



斜線で示した部分が図1に示した試料ホルダー4で、クランプ部および固定台は省略してある。断面6aは、図1に示した試料6の断面部を示す。

断面加工を行う場合は、試料ホルダー4のクランプ部を図9(d)に示したような断面加工用クランプ部に取り替え、試料を保持した試料保持部材をこの断面加工用クランプ部でクランプする。そして、液体金属イオンビーム照射装置1からのFIBで試料の表面を照射して断面加工を行う。

ダメージ層を除去する場合は、断面加工用クランプ部に代えて図1に示したクランプ部41を使用する。断面が形成された試料を保持している試料保持部材を断面加工用クランプ部から外してクランプ部41に取り付ける。そして、気体イオンビーム照射装置2からの気体イオンビームを試料の断面に裏面側から照射してダメージ層を除去する。

ダメージ層が除去された断面(断面部6a)をSEM観察する場合は、クランプ部41に代えて断面加工用クランプ部を使用する。ダメージ層が除去された試料を保持している試料保持部材をクランプ部41から外して断面加工用クランプ部に取り付ける。電子ビーム照射装置7からの電子ビームが断面部6aに対して垂直に入射するように試料ステージ5のチルト角を制御する(図7中の破線で示した断面部6aの状態)。そして、電子ビームを断面部6aに照射し、断面部6aから放出される二次電子を二次電子検出器8で検出する。この二次電子検出器8の出力に基づいてSEM像を得る。

ダメージ層が除去された断面(断面部6a)をTEM観察する場合も、上記のSEM観察の場合と同様な手順で電子ビームを断面部6aに垂直な方向から照射する。そして、断面部6aを透過した透過電子を透過電子検出器9で検出する。この透過電子検出器9の出力に基づいてSEM像を得る。

以上説明した本発明のイオンビーム装置において、気体イオンビームの加速電圧は数10Vから10kVが一般的であるが、ダメージを少なくするために低いほどよい。ただし、低い加速電圧にすると、エッチング速度が遅くなるため、実用的な時間でエッチングの終了する加速電圧を設定することが望ましい。

以上説明したように、本発明によれば、断面への二次粒子の再付着が抑制されるので、TEMやSEMによる良好な断面観察を行うことができる試料の作製が

可能となる、という効果を奏する。

【符号の説明】

- 1 液体金属イオンビーム照射装置
- 2 気体イオンビーム照射装置
- 3 試料保持部材
- 4 試料ホルダー
- 5 試料ステージ
- 6 試料
- 1 1 気体イオンビーム
- 1 2 二次粒子
- 4 1 クランプ部
- 4 1 a 押し当て部
- 4 1 b 受部
- 4 2 固定台
- 4 2 a 突き当て部
- 4 2 b 固定部
- 4 2 c 板ばね部材